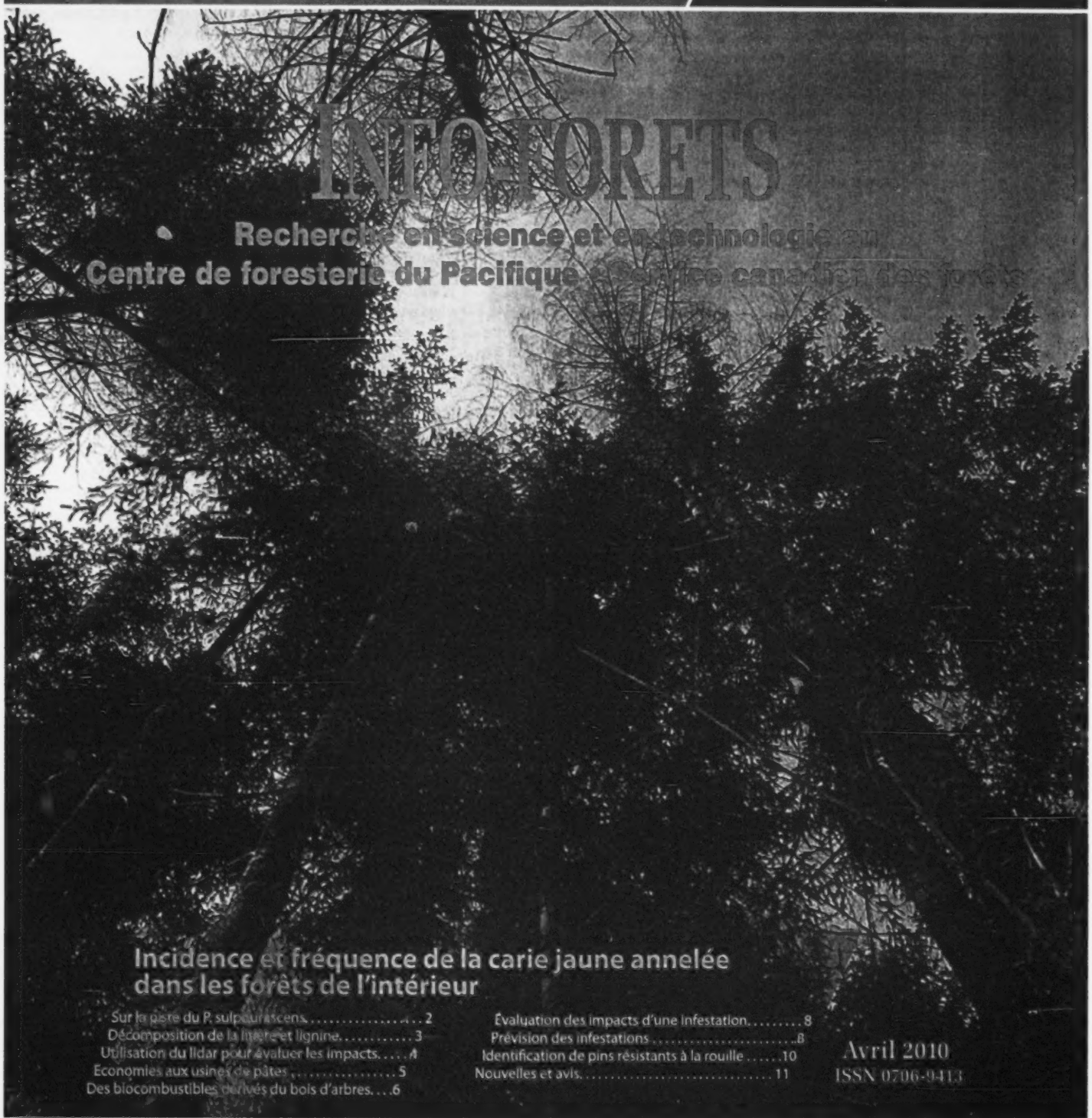
Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada



INFO-FORÊTS

Recherche en science et en technologie au Centre de foresterie du Pacifique

Service canadien des forêts

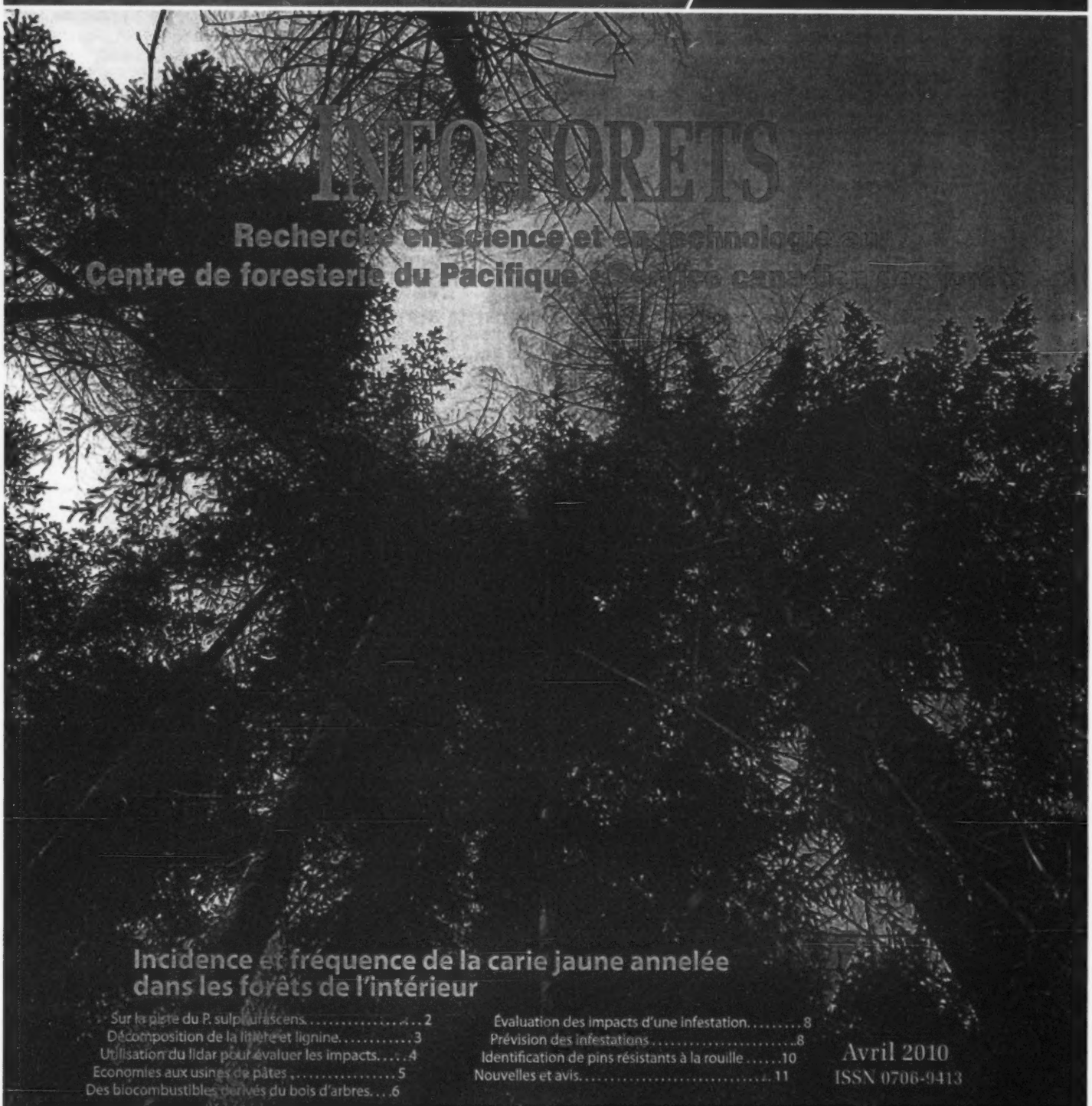
Incidence et fréquence de la carie jaune annelée dans les forêts de l'intérieur

Sur la piste du P. sulphurascens 2
Décomposition de la litière et lignine 3
Utilisation du lidar pour évaluer les impacts 4
Économies aux usines de pâtes 5
Des biocombustibles dérivés du bois d'arbres . . . 6
Évaluation des impacts d'une infestation 8
Prévision des infestations 8
Identification de pins résistants à la rouille 10
Nouvelles et avis 11

Avril 2010
ISSN 0706-9413

Canada

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada



INFO-FORÊTS

Recherche en science et en technologie au Centre de foresterie du Pacifique

Incidence et fréquence de la carie jaune annelée dans les forêts de l'intérieur

Sur la piste du P. sulphurascens 2
Décomposition de la litière et lignine 3
Utilisation du lidar pour évaluer les impacts 4
Économies aux usines de pâtes 5
Des biocombustibles dérivés du bois d'arbres ... 6
Évaluation des impacts d'une infestation 8
Prévision des infestations 8
Identification de pins résistants à la rouille 10
Nouvelles et avis 11

Avril 2010
ISSN 0706-9413

Canada

Des données pour améliorer les estimations de la croissance

Page couverturer

La carie jaune annelée, causée par le *Phellinus sulphurascens*, entrave le transport des éléments nutritifs dans les racines du douglas.

La carie jaune annelée, causée par le champignon *Phellinus sulphurascens*, est l'une des deux principales maladies des racines de conifères sévissant dans les forêts de la Colombie-Britannique et est un agent de perturbation majeur dans les peuplements côtiers de douglas verts; en revanche, le pourridié-agaric causé par l'*Armillaria ostoyae* est plus courant dans les forêts intérieures plus sèches de douglas bleus.

Les scientifiques s'intéressant à la maladie des racines causée par le *Phellinus* ont récemment élargi leur champ de recherche pour y inclure les forêts dominées par le douglas de l'intérieur méridional de la province.

« Nous savons que le *Phellinus* y est présent », indique Rona Sturrock (rona.sturrock@rncan.gc.ca), une chercheuse en pathologie forestière à Ressources naturelles Canada. « Nous savons aussi qu'il coexiste avec l'*Armillaria*, mais personne ne s'est jamais rendu sur le terrain dans la région intérieure pour y effectuer un relevé à grande échelle ciblant le *Phellinus*. »

Un champignon acquiert une nouvelle identité

Pendant des décennies, deux formes de *Phellinus weirii* sensu lato étaient reconnues : l'une causant une carie des racines mortelle chez le douglas et d'autres essences de conifères (la 'forme infectant le douglas'), et l'autre infectant presque exclusivement le thuya géant et le cyprès jaune dans l'ouest de l'Amérique du Nord (la 'forme infectant le thuya géant'). D'après les résultats d'analyses utilisant des techniques de biologie moléculaire, les chercheurs reconnaissent maintenant deux formes étroitement apparentées : le *P. sulphurascens* est l'espèce s'attaquant principalement au douglas, et le *P. weirii*, celle s'attaquant au thuya. En 2005, Rona Sturrock, pathologiste forestière du Service canadien des forêts, et ses collègues du Centre de foresterie du Pacifique et de l'Université de la Colombie-Britannique ont mis au point une technique permettant de distinguer rapidement les espèces, dont les fructifications et la morphologie se ressemblent.

Un changement similaire de nom est proposé pour l'*A. ostoyae*, qui deviendrait l'*Armillaria solidipes*. Ce 'nouveau' nom est à l'étude en vue de son éventuelle adoption par les chercheurs et les aménagistes.

Sources

Les articles « *Host–pathogen interactions in Douglas-fir seedlings infected by* Phellinus sulphurascens » (publié dans le journal *Phytopathology*), « *Differentiating the two closely related species,* Phellinus weirii *and* P. sulphurascens » (dans le journal *Forest Pathology*) et autres articles apparentés sont disponibles à la librairie en ligne du Service canadien des forêts.

Mme Sturrock ajoute que ce nouveau volet de recherche vise à déterminer la répartition et la prévalence de ce champignon dans plusieurs zones d'approvisionnement en bois de la région ainsi que sa prévalence dans les endroits où l'*Armillaria* est présent ou sa répartition par rapport au pourridié-agaric.

« En fin de compte, nous tentons de déterminer les impacts du *Phellinus* sur ces forêts et la façon dont les analystes pourraient rajuster les prévisions de la croissance et du rendement pour tenir compte de ces impacts. »

Le *Phellinus sulphurascens* est présent dans plus de 80 % des peuplements de Douglas de l'île de Vancouver et selon les constatations, il réduit l'accroissement en volume de 40 à 70 % dans les peuplements côtiers infectés.

Or, les données sur l'incidence et la fréquence de ce champignon dans les forêts de l'intérieur sont incomplètes. De plus, nous ne connaissons pas les impacts à long terme du *P. sulphurascens* sur la productivité des peuplements dans l'intérieur méridional. Comme le précise Michelle Cleary, pathologiste forestière du ministère des Forêts et Parcours de la Colombie-Britannique, « Il s'ensuit que les estimations de la croissance et du rendement et les données d'inventaire forestier ne tiennent pas convenablement compte de sa présence dans les peuplements mûrs exploitables. »

« Les modèles actuels d'approvisionnement en bois ne tiennent pas compte des effets du *Phellinus* dans la région intérieure, puisque nous ne disposons pas de données nous permettant de déterminer avec exactitude les pertes à prévoir dans ces types de peuplements, ajoute Mme Cleary. C'est pourtant indispensable : nous devons tenir compte de ces pertes lors de la modélisation de l'approvisionnement en bois. »

Le *Phellinus* a deux types d'effets sur le volume des peuplements infectés : ou il tue les arbres ou il force les arbres dont le système racinaire n'est pas atteint mortellement à mobiliser leurs ressources pour se défendre et non pour croître.

Selon les résultats des relevés triennaux effectués dans cinq zones d'approvisionnement en bois de la province dans le cadre de l'étude, le *P. sulphurascens* est présent dans divers endroits depuis le nord de Shuswap jusqu'à la frontière américaine au sud, et depuis Merritt jusqu'aux lacs Arrow à l'est. Plus d'une centaine de peuplements ont fait l'objet de relevés : le champignon a été découvert dans le tiers d'entre eux. En comparaison, l'*Armillaria* a été relevé dans environ les deux tiers des peuplements.

Il s'est avéré que presque 3 % de tous les arbres évalués dans les peuplements infectés affichaient un mycélium ectotrophe autour de leur collet, un signe d'infection par le *P. sulphurascens*.

Les peuplements examinés incluaient des arbres situés à l'intérieur et à l'extérieur des placettes provinciales permanentes d'échantillonnage de la croissance et du rendement, qui servent depuis des décennies à mesurer et à documenter la croissance. Les chercheurs

suite à la page 3…

Percer le mystère de la décomposition de la litière

Une étude pluriannuelle de litières en décomposition a mis en évidence les changements chimiques qui surviennent à mesure que la biomasse se décompose. En déterminant les changements chimiques survenant dans 11 types de litière prélevés dans des stations plus chaudes et plus froides dans le cadre de l'Expérience canadienne sur la décomposition interstationnelle (CIDET), des chercheurs de Ressources naturelles Canada et leurs collègues ont réussi à mieux comprendre les processus de décomposition et leur apport au carbone forestier.

« La décomposition de la litière est un aspect indispensable pour comprendre comment la lignine et les substances chimiques hydrosolubles se comportent lors de la libération et du stockage du carbone durant la décomposition », indique Caroline Preston (caroline.preston@rncan.gc.ca), chercheuse émérite du Service canadien des forêts et chimiste de l'étude.

Localisée dans les parois cellulaires végétales, la lignine se lie à la cellulose, une autre matière fibreuse des tissus végétaux, pour conférer robustesse et force aux parois cellulaires. Plus une plante a de lignine, plus elle se lignifie : la lignine donne aux tiges, aux ramilles et aux troncs leur cohésion et leur forme. Les végétaux en ont besoin pour assurer la conduction de l'eau et piéger le carbone. Après la mort d'une plante, sa lignine prend plus de temps à se décomposer que le reste de la biomasse, et le carbone qu'elle contient est libéré plus lentement dans l'environnement.

Mme Preston et ses collègues ont utilisé la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (RMN) pour déterminer si une teneur accrue en lignine pouvait expliquer l'augmentation du résidu non hydrolysable par l'acide dans les litières en voie de décomposition provenant de sites ayant des températures annuelles moyennes différentes. Le résidu non hydrolysable par l'acide est la substance chimique résiduelle après extraction de matière végétale à l'aide de solvants, d'eau chaude et d'acide sulfurique bouillant. Les scientifiques ont aussi tenté de déterminer si les changements de la composition organique empruntent des trajectoires similaires lors de la perte de biomasse carbonique.

Les scientifiques ont découvert que la décomposition de la litière feuillue atteint un équilibre relatif durant la sixième année, en partie en raison des teneurs plus faibles en tannins, en composés phénoliques et en d'autres structures hydrosolubles, tandis que les composés plus résistants et de poids moléculaire plus élevé, comme les cires et la lignine persistent. Les taux de décomposition de la litière étaient affectés par les propriétés chimiques du sol d'un site présentant des accumulations importantes de certains éléments lourds, comme le fer et l'aluminium, qui lient et stabilisent la matière organique.

« Cependant, dans la plupart des types de litière caractérisés, les changements de la composition organique pouvaient être corrélés à la perte de biomasse carbonique due au climat — principalement à la température », indique Tony Trofymow (tony.trofymow@rncan.gc.ca), chercheur scientifique du Service canadien des forêts et chez de la CIDET.

Des travaux sont en cours afin de compiler les résultats de recherche issus de la même gamme d'échantillons couvrant une période de 12 ans.

—*D.C.*

Sources

L'article « *Chemical changes during 6 years of decomposition of 11 litters in some Canada forest sites* » (parties 1 et 2) a été publié dans le numéro de septembre de la revue *Ecosystems* et est disponible à la librairie en ligne du Service canadien des forêts.

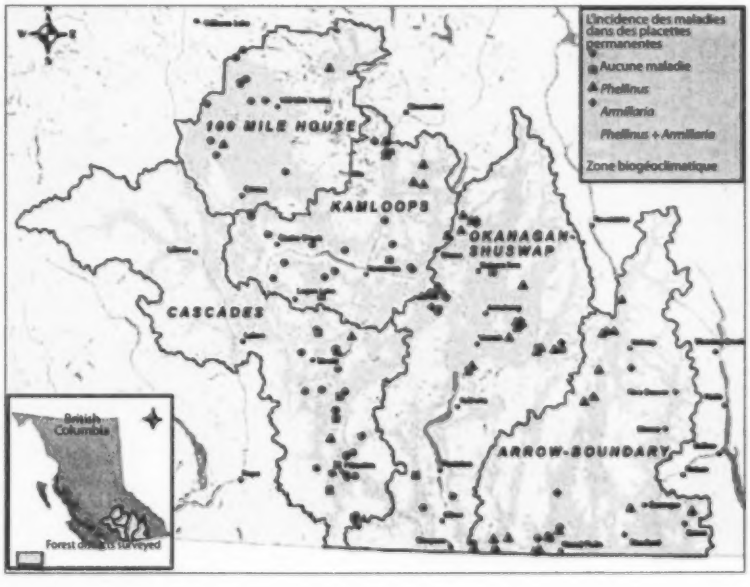
Sur la piste du *P. sulphurascens*

...suite de la page 2

utiliseront les données d'archives sur la croissance pour déterminer l'impact du champignon sur la croissance et le volume des arbres. Cette information leur permettra de déterminer quelle est la meilleure façon de représenter les impacts de la maladie dans les modèles de la croissance et du rendement, dans les analyses de l'approvisionnement en bois et dans les inventaires forestiers.

Elle permettra aussi aux aménagistes de prendre des décisions éclairées sur la lutte contre les maladies des racines, y compris le choix des essences à utiliser lors du reboisement et les traitements sylvicoles à appliquer lors du repeuplement de stations infectées.

—*M.K.*



Incidence du *Phellinus sulphurascens* et de l'*Armillaria ostoyae*, détectés dans cinq zones d'approvisionnement en bois durant l'étude triennale du Service canadien des forêts et du ministère des Forêts et des Parcours de la Colombie-Britannique

Les lasers ajoutent à la vérification annuelle de la santé des forêts

Compte tenu des vastes superficies attaquées par le dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique, il est difficile de suivre l'évolution des forêts qui se produit à l'échelle de la province. Il existe maintenant une nouvelle technique mise au point par des chercheurs en télédétection de Ressources naturelles Canada et de l'Université de la Colombie-Britannique qui offre aux aménagistes un moyen d'évaluer la santé des forêts en estimant le volume de pin tué par le dendroctone du pin ponderosa et d'autres ravageurs.

Les chercheurs ont examiné dans quelle mesure les données du lidar et de photographies aériennes numériques peuvent permettre de bien estimer le volume de pin mort encore sur pied. Le système lidar, qui est l'abréviation de détection et télémétrie par ondes lumineuses, utilise un laser monté sur un aéronef. En envoyant des dizaines de milliers d'impulsions par seconde, les lasers peuvent cartographier l'altitude du terrain et la structure de la végétation à une exactitude inframétrique.

« Nous avons pris un ensemble existant d'outils et nous les avons appliqués à un problème avec lequel la Colombie-Britannique, de toute évidence, se débat, indique Chris Bater, un analyste spatial de la faculté de foresterie de l'Université de la Colombie-Britannique. Nous tentons d'améliorer le degré d'exactitude des estimations du volume de la façon la plus économique possible. » Dans la province, une vaste superficie fait l'objet de relevés chaque année : il faut donc des techniques peu coûteuses, comme des relevés aériens. Les relevés fondés sur l'échantillonnage visent à offrir des avenues pour effectuer des relevés détaillés et peu coûteux, notamment pour évaluer les pertes de volume ligneux.

« En échantillonnant par lidar, vous pouvez couvrir plus efficacement un vaste territoire, indique M. Bater. Nous avons fait appel à des outils qui sont déjà opérationnels dans de nombreuses régions du monde et nous les avons combinés pour faire quelque chose d'utile que nous ne pouvions pas faire auparavant. »

Dans le cadre du projet lidar, financé par le Programme sur le dendroctone du pin ponderosa, M. Bater et ses collègues ont caractérisé la hauteur des arbres et la situation phytosanitaire en combinant des données d'inventaire forestier sur les communautés végétales, la composition taxinomique et la fermeture du couvert avec des données indépendantes qu'ils ont compilées à partir du relevé lidar et de l'orthophotographie—photographie aérienne sur laquelle les distorsions du terrain ont été corrigées. Ils ont utilisé la hauteur des arbres et le type d'essence pour calculer le volume d'une zone pilote de 15 000 hectares. Les résultats du lidar ont ensuite été comparés à l'inventaire forestier et soutenaient assez bien la comparaison, avec une différence moyenne de 20 m3/ha pour la plupart des placettes.

« C'est encourageant de constater le peu d'écart entre les estimations », indique Mike Wulder (mwulder@rncan.gc.ca), le chef de l'équipe de recherche. L'équipe a aussi appris qu'il faudrait environ 50 placettes-échantillons photos-lidar d'un quart d'hectare pour estimer, avec une marge d'erreur de 10 %, le volume moyen de pin tué par le dendroctone dans cette zone pilote. Il faudrait 200 placettes photos pour obtenir une marge d'erreur de 5 % et près de 1 250 pour une marge de 2 %.

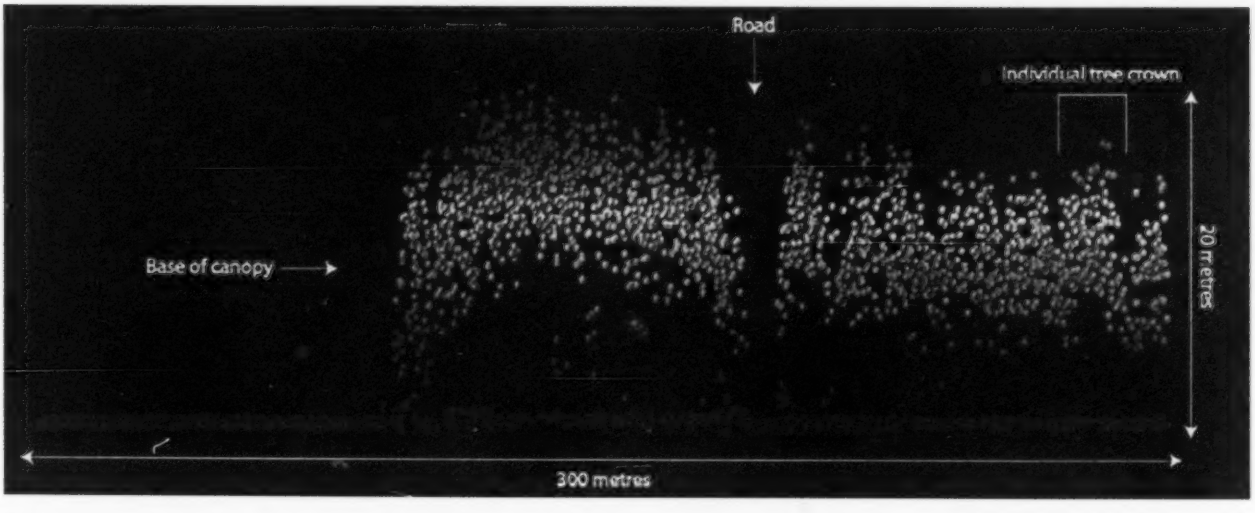
« L'étude démontre que la combinaison des données d'inventaire forestier existantes avec le lidar et l'orthophotographie numérique offre un moyen efficace pour estimer le volume sur de vastes étendues de forêt perturbée », indique M. Wulder. La technique d'échantillonnage fournit une autre option efficace et statistiquement valide aux aménagistes pour vérifier l'information existante ou pour mettre à jour l'état des forêts affectées par le dendroctone du pin ponderosa — qui plus est, les données lidar ont l'avantage d'être déjà compatibles avec les modèles et les données d'inventaire forestier existants. Les techniques présentées dans cette étude sont prêtes à être appliquées à l'échelle commerciale.

—K.Z.

Sources

Le document de travail du Programme sur le dendroctone du pin ponderosa, intitulé *Preliminary findings towards the use of lidar and digital aerial imagery as sampling tools to characterize volume killed by mountain pine beetle* (document de travail 2008-15) est disponible à la librairie en ligne du Service canadien des forêts.

Forest Dimensions Inc., de Saanichton, en Colombie-Britannique, a recueilli et fourni les données lidar pour ce projet et a interprété les images numériques.



Transect d'un peuplement forestier, tel que détecté à l'aide du lidar.

Photo : Christopher Bater, département de Forest Resources Management, UBC

A l'aide des usines de pâtes utilisant le bois tués par le dendroctone

Lorsque les usines de pâtes ont commencé à transformer le bois de pins tués par le dendroctone, des problèmes ont surgi de toutes parts. Le bois était sec, les copeaux étaient bleus et la pâte, mousseuse. Les changements provoqués dans le bois de pin par le dendroctone et les champignon du bleuissement qui lui sont associés ont posé des difficultés aux usines de pâtes, mais des chercheurs de l'industrie ont réussi, grâce à des fonds fournis par le Programme sur le dendroctone du pin ponderosa du fédéral et à Forestry Innovation Investment Ltd., à trouver des moyens permettant aux usines de réduire leurs coûts.

Les usines de pâtes kraft et thermomécaniques ont éprouvé des problèmes différents. Le procédé kraft a pour effet de dissoudre la lignine du bois et de laisser les fibres intactes; la pâte ainsi produite sert à la fabrication de papier pour romans, nouvelles et photocopieuses. Le procédé a en outre l'avantage d'extraire le champignon du bleuissement, débarrassant ainsi les fibres de leurs teintes de gris délavé. Les copeaux desséchés du bois des pins morts exigent une plus grande quantité d'eau que des billes normales mais donnent un papier d'une qualité presque semblable.

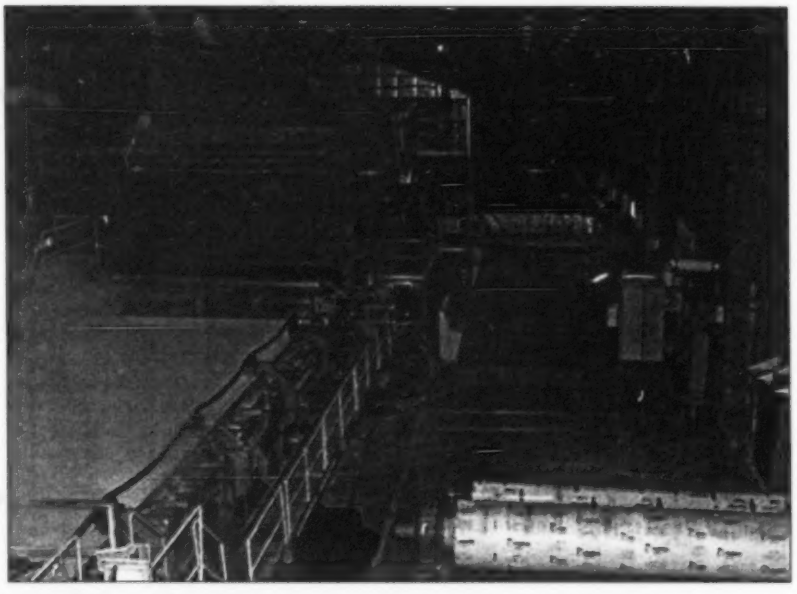
Mais les usines de pâtes se sont également retrouvées sur un terrain plus glissant. Le traitement des copeaux produit un genre de mousse, un mélange d'acides gras et de résines, habituellement écumé et transformé en tallöl, puis brûlé dans les fours à chaux des usines afin de réduire leur utilisation de combustibles fossiles lors de la récupération chimique.

« Lorsque le dendroctone a frappé pour la première fois, les usines ont été submergées de mousse parce les pins avaient tenté de repousser l'envahisseur en produisant une quantité excessive de résine, précise Vic Uloth, spécialiste en récupération chimique de FPInnovations à Prince George. Puis la mousse a disparu. Peu de temps après, le concentrateur servant à évaporer la liqueur noire (la liqueur de cuisson, constituée de substances chimiques et de pâte) destinée à être brûlée a commencé à s'encrasser, et les chaudières de récupération ont commencé à produire des quantités excessives de vapeur.

M. Uloth et ses collègues ont analysé la liqueur noire. La mousse était toujours là, sauf qu'elle ne faisait pas surface : en fait, ils ont constaté que la mousse allait souvent au fond. D'après les résultats de leurs analyses, le rapport acides gras/résines avait diminué en deçà du seuil critique de flottabilité. Deux raisons expliquent le phénomène : le champignon du bleuissement prospère grâce aux acides gras du bois, ce qui fait baisser le numérateur, et les pins attaqués produisent jusqu'à trois fois plus de résine qu'en temps normal pour repousser le dendroctone, ce qui fait augmenter le dénominateur. M. Uloth a découvert que l'ajout au mélange de résidus végétaux de canola faisait augmenter suffisamment les acides gras pour faire flotter la mousse.

Il se trouve que les fermes de la Saskatchewan qui cultivent le canola produisent des tonnes de résidus végétaux.

M. Uloth et ses collègues ont récemment ajouté de tels résidus au procédé kraft dans le cadre d'essais effectués à l'usine de pâtes et papiers Cariboo à Quesnel. Ils ont obtenu des résultats prometteurs et espèrent intégrer le procédé à l'industrie, ce qui pourrait faire économiser à chaque usine touchée jusqu'à deux millions de dollars par année.



La recherche financée par le Programme sur le dendroctone du pin ponderosa du gouvernement fédéral et concernant les moyens de compenser les caractéristiques problématiques du bois des arbres tués par le dendroctone peut aider les usines de pâtes de la Colombie-Britannique à économiser des millions de dollars chaque année.

Photo : kds-photo © 2007 iStock

La situation est différente dans les usines de pâtes thermomécanique, où les copeaux de bois sont physiquement réduits en pâte. Le procédé mécanique ne débarrasse pas le bois du champignon, et les pigments subsistants font perdre au papier cinq à huit points sur l'échelle de blancheur de 100 de l'industrie.

« La blancheur est une question primordiale, indique Barbara Dalpke, une chercheure sur l'approvisionnement en fibres de FPInnovations, à Vancouver. La pâte thermomécanique sert à la fabrication de papier journal et de papier glacé pour catalogues, précise-t-elle, de sorte que même 1 % c'est beaucoup. »

Le blanchiment post-raffinage au dithionite, qui donne des résultats optimaux avec le bois sain, n'agissait pas sur le bois de pin bleui, et le recours au peroxyde réduisait le rendement. Une équipe dirigée par Thomas Hu, un chercheur sur le blanchiment de la pâte de FPInnovations, a tenté d'ajuster la séquence de blanchiment et l'alcalinité de la pâte. Elle a découvert que le dithionite, s'il était ajouté plus tôt lors du raffinage se mélangeait mieux à la pâte et procurait un blanchissement presque régulier. L'ajout de peroxyde après le raffinage a également été utile. L'essai en usine pilote a une fois de plus donné de bons résultats, et l'équipe espère implanter le procédé en usine.

—K.Z.

Sources

Les documents de travail intitulés *Waste fatty acid addition to black liquor to decrease tall oil soap solubility and increase skimming efficiency in kraft mills pulping mountain pine beetle infected wood, Determining the relationship between wood and fiber quality of mountain pine beetle-killed wood and paper quality of mechanical paper*, et d'autres documents de travail du Programme sur le dendroctone du pin ponderosa sont disponibles à la librairie en ligne du Service canadien des forêts.

Les biocombustibles dérivés du bois d'arbres tués par le dendrocton

Sources

Le rapport d'information intitulé, *Bioenergy options for woody feedstock: Are trees killed by mountain pine beetle in British Columbia a viable bioenergy resource?* (BC-X 405), ainsi que l'article intitulé, *Biomass energy production opportunities from large scale disturbances in Western Canada*, et le document de travail du Programme sur le dendroctone du pin ponderosa intitulé, *Bioconversion of beetle killed lodgepole pine to bioethanol* (document de travail 2009-24) sont disponibles à la librairie en ligne du Service canadien des forêts.

Pour de plus amples renseignements sur le Programme d'écologisation des pâtes et papiers de Ressources naturelles Canada, visitez son site Web à l'adresse suivante : http://scf.rncan.gc.ca/soussite/pates-papiers-ecologisation/accueil

Pendant que l'infestation du dendroctone du pin ponderosa teintait de rouge et de gris les paysagers forestiers de l'intérieur de la Colombie-Britannique, l'intérêt porté à l'énergie dans le monde entier prenait un virage vert. Le mouvement international en faveur de la production d'énergie renouvelable par des fournisseurs réputés a incité des chercheurs de Ressources naturelles Canada et de l'Université de la Colombie-Britannique à évaluer le potentiel d'utilisation comme biocombustible du bois des pins tués par le dendroctone.

Tous les biocombustibles sans exception stockent l'énergie sous une forme moins compacte que les combustibles fossiles — ainsi, le bois de chauffage rejette plus de dioxyde de carbone (CO_2) que le mazout lorsqu'il est utilisé pour chauffer une maison à une même température. Les biocombustibles sont toutefois préférables, car ils rejettent du carbone qui avait été absorbé de l'atmosphère par l'arbre sa vie durant qui varie de 50 à 400 ans. En revanche, les combustibles fossiles rejettent du carbone qui était stocké sous terre depuis des centaines de millions d'années, faisant augmenter les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et contribuant aux changement climatiques.

Le dendroctone du pin ponderosa a détruit environ 580 millions de mètres cubes de bois. Les chercheurs se demandent s'il vaut mieux, dans le contexte du réchauffement mondial, laisser le bois se décomposer en forêt et libérer lentement le carbone ou le récupérer et l'utiliser pour compenser l'utilisation de carbone fossile.

Werner Kurz, chef de l'Équipe de comptabilisation du carbone forestier du Service canadien des forêts, et ses collègues élaborent des outils pour évaluer où et quand des coupes de récupération seraient avantageuses pour le cycle du carbone. Même si le carbone est l'un des nombreux critères à prendre en compte lors de l'aménagement des forêts, il faut aussi considérer les effets des coupes de récupération sur le cycle du carbone sur le plan du bilan local et mondial du carbone.

« Les émissions seront certes plus élevées à court terme, mais si nous laissons les forêts se repeupler, nous obtiendrons à long terme des puits de carbone plus importants, indique Werner Kurz (werner.kurz@rncan.gc.ca). Nous pouvons même réduire le risque qu'un feu de forêt rejette du carbone et nous empêche de mettre à profit cette énergie pour compenser les émissions des combustibles fossiles. »

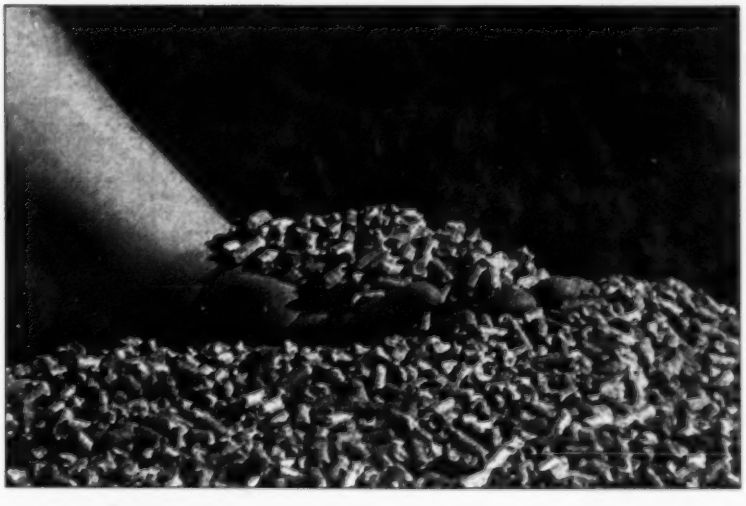
Grâce à des fonds du Programme sur le dendroctone du pin ponderosa du gouvernement fédéral, les chercheurs Brad Stennes, Kurt Niquidet et Jack Saddler ont pu examiner les options de valorisation du bois des arbres tués par le dendroctone dans le secteur des énergies de remplacement de la Colombie-Britannique. Trois des options de valorisation de l'énergie stockée dans les pins tués par le dendroctone se sont détachées des autres. Nous pouvons accéder directement au bois et l'utiliser pour le chauffage, le transformer en bioéthanol et l'ajouter à l'essence ou le comprimer en pastilles de biocombustible pour les expédier à des acheteurs un peu partout dans le monde.

De couleur claire et d'un poids léger, les pastilles de biocombustible ressemblent à des bouchons minces comme des crayons et sommairement coupés aux extrémités. Les usines les fabriquent en compressant les rabotures et la sciure provenant de la transformation des billes. Le million de tonnes produit chaque année par la Colombie-Britannique est expédié pratiquement en entier en Europe, où l'emploi des pastilles est attrayant en raison des subventions accordées pour l'utilisation d'énergie renouvelable et des amendes imposées pour l'utilisation de combustibles fossiles.

Au milieu des années 2000, la vigueur des marchés pour le bois de sciage et l'augmentation du bois de sciage disponible provoquée par le dendroctone ont stimulé la production de sciages et, par le fait même, de pastilles combustibles. Les pastilles de bois de pins tués par le dendroctone, une source en apparence quasi-inépuisable, étaient sur le point de s'imposer comme une solution de rechange écologique et peu coûteuse aux combustibles fossiles de plus en plus chers.

« La bioénergie dérivée du bois des arbres tués par le dendroctone soulevait beaucoup d'optimisme », indique Brad Stennes (brad.stennes@rncan.gc.ca), un économiste du Service canadien des forêts. La crise économique mondiale de 2008 l'a empêché de poursuivre sur sa lancée. La situation difficile dans laquelle le marché du bois résineux s'est retrouvé a ralenti la transformation du bois de sciage de la Colombie-Britannique, ce qui a fait diminuer l'approvisionnement en résidus d'usine et fait augmenter le coût des pastilles.

La Colombie-Britannique a tout intérêt à exporter ses pastilles vers l'Europe lorsque ses usines peuvent valoriser ces résidus. Comme la production de bois de sciage continue de tourner au ralenti, les résidus



Pour fabriquer les pastilles, les usines compressent les rabotures et la sciure provenant de la transformation des billes. Le million de tonnes produit chaque année par la Colombie-Britannique est expédié pratiquement en entier en Europe.

e font leur apparition dans le secteur des énergies de remplacement

d'usine demeurent une denrée rare. La solution de rechange — le déchiquetage des résidus d'exploitation forestière laissés en bordure des routes et leur transport à des fins de valorisation bioénergétique — peut être rentable si l'usine est située non loin du site d'où provient la matière première, mais est limitée par les coûts qui augmentent avec la distance. La solution la plus coûteuse, récolter directement le bois pour le valoriser, n'est pas rentable à moins que les prix de l'énergie ne soient beaucoup plus élevés qu'à l'heure actuelle.

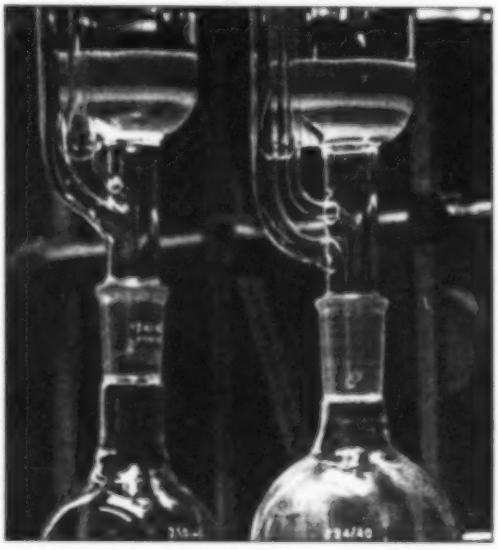
La bioénergie est disponible sous une forme beaucoup plus simple que les pastilles : la biomasse non transformée. La combustion de biomasse pour créer de la chaleur à des fins de production de vapeur est un moyen facile et efficace d'utiliser cette énergie. Les projets visant à compenser l'utilisation de combustibles fossiles à l'aide de la biomasse surgissent partout en Colombie-Britannique, en partie sous l'effet de l'objectif énoncé par le province de retrouver son autosuffisance énergétique et du Programme d'écologisation des pâtes et papiers de Ressources naturelles Canada.

La cogénération est une méthode répandue de production d'énergie à partir de la biomasse et consiste à produire de l'électricité à partir de la chaleur produite par la biomasse brûlée sur place. Les usines se prêtent particulièrement bien à la cogénération : elles recueillent et transforment déjà la biomasse forestière et disposent de la capacité industrielle nécessaire pour brûler et valoriser des produits qui seraient autrement considérés comme des résidus. L'usine Celgar de Mercer International, située près de Castlegar, revend déjà au réseau électrique de la province jusqu'à sept mégawatts qui constituent un produit dérivé de la mise en pâte, et sera en mesure, grâce aux nouveaux investissements prévus dans sa capacité énergétique, de fournir jusqu'à 30 mégawatts de plus d'électricité que ce qu'elle a besoin.

L'énergie tirée de la biomasse ou la production d'énergie à partir de biomasse exigent la plupart du temps de brûler directement de la biomasse et ne sont réalisables que dans des installations fixes de production, comme des poêles à bois ou des usines de cogénération. Les sources d'énergie renouvelable, telles l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie marémotrice, sont aussi tributaires d'une infrastructure fixe. Les moteurs à combustion interne sont une toute autre histoire.

« Le secteur des transports contribue énormément aux émissions de CO_2, mais il existe très peu de solutions de remplacement de l'essence et du diesel par une source d'énergie renouvelable, affirme Jack Saddler, un chercheur en biotechnologie forestière de l'Université de la Colombie-Britannique. C'est la raison pour laquelle nous examinons la possibilité de transformer les résidus de bois résineux en éthanol, qui peut être mélangé et substitué à l'essence. »

Les résultats de la recherche de M. Saddler ont montré que la conversion en éthanol du bois de pins tués par le dendroctone est techniquement possible et pourrait un jour être économiquement réalisable.



La recherche financée en part par le Programme sur le dendroctone du pin ponderosa du gouvernement fédéral indique que la transformation des grandes quantités du bois d'arbres tués par le dendroctone à biocombustibles peut être réalizer.

Photo : Jack Saddler, l'Université de la Colombie-Britannique

En traitant le copeaux de bois à la vapeur, M. Saddler a découvert que les enzymes dégradaient plus efficacement les glucides, faisant augmenter les sucres et, par la suite le rendement en éthanol.

Le bois de pin a un potentiel plus faible comme biocombustible en raison de sa résistance structurale. La nature a fait en sorte que des matières premières, comme le sucre de la canne à sucre et l'amidon du blé ou du maïs, puissent être dégradées et utilisées facilement, mais que des matières lignocellulosiques, comme la paille de blé, les cannes de maïs et le bois, soient très durables. La lignine des bois résineux complique le processus de dégradation, comme le savent tous ceux qui connaissent la durabilité et la résistance à la pourriture du bois de thuya et de douglas.

Même si la conversion des résidus de bois résineux en sucres, puis en éthanol, ne se fait pas sans mal, les résultats de l'analyse du cycle de vie — la facture totale d'énergie d'un produit depuis le berceau jusqu'à la tombe — laissent voir que le procédé pourrait être plus écologique que de nombreux procédés de transformation du maïs en éthanol. De plus, contrairement au maïs et au blé que nous ne pouvons cultiver que durant certaines saisons, nous pouvons récolter des arbres pendant toute l'année; de plus, la Colombie-Britannique possède l'infrastructure et l'expertise nécessaires pour aménager ses forêts de manière durable. En outre, comme le disait M. Saddler, comme nous ne pouvons manger les arbres, « le dilemme nourriture versus combustible est un aspect moins controversé du débat entourant la conversion de la biomasse en éthanol. »

À l'échelle mondiale, plus d'une cinquantaine de sociétés — y compris plusieurs de la Colombie-Britannique — mettent actuellement au point des méthodes commerciales de production d'éthanol à partir de bois résineux. Plus la demande de biocombustibles plus durables augmente, plus les gens sont nombreux à se rendre compte des avantages de convertir en biocombustibles les résidus du bois de pins tués par le dendroctone.

—K.Z.

Des infestations éclaircissent les jeunes peuplements de pruches

Comprendre les interactions complexes entre les insectes et leurs hôtes permet aux aménagistes de mieux gérer les processus naturels des écosystèmes pour atteindre leurs objectifs.

Les résultats les plus récents d'une étude pluriannuelle de Ressources naturelles Canada sur les impacts de la défoliation causée par une infestation de la tordeuse à tête noire de l'Ouest (*Acleris gloverana*) qui a balayé de vastes peuplements de pruches de l'Ouest en voie de régénération dans la région de Haida Gwaii, au large de la côte centrale de la Colombie-Britannique, fournissent des indications de cette nature sur les relations ravageur-hôte dans les forêts côtières tempérées.

Vince Nealis (vince.nealis@rncan.gc.ca), un entomologiste du Service canadien des forêts, est retourné en 2004 dans des placettes d'étude établies en 2001 sur les îles après la fin de l'infestation et y a mesuré les impacts du ravageur : le nombre d'arbres morts à la suite de la défoliation causée par l'infestation, le nombre d'arbres qui se sont rétablis et les conséquences sur les taux de croissance.

Il a constaté que la mortalité des jeunes pruches causée par l'infestation, était faible — environ 7 % seulement — mais groupée. « Dans certains peuplements, la plupart des arbres étaient morts mais étaient entourés de peuplements verts en voie de rétablissement. »

Le nombre d'arbres survivants souffrant de dépérissement terminal (mort en cime) — un effet majeur d'une infestation de la tordeuse à tête noire — avait été

établi en 1999. À cette époque, ce phénomène affectait 20 % des jeunes arbres et frappait principalement les arbres les plus grands des jeunes peuplements où des éclaircies précommerciales avaient été pratiquées au début des années 1990 — c'est-à-dire dans les peuple-

Données permettent prévoir l'apparition d'une infestation

La tordeuse à tête noire de l'Ouest (*Acleris gloverana*) est l'espèce « commando » de tordeuse des bourgeons. Contrairement aux autres espèces de tordeuse, la tordeuse à tête noire frappe soudainement et disparaît rapidement durant un épisode de pullulation, laissant derrière elle des peuplements de conifères rougis à mesure qu'elle se propage dans le paysage des jeunes peuplements en voie de régénération.

La tordeuse à tête noire se distingue des autres espèces de tordeuses des bourgeons par ses infestations qui surviennent à des intervalles pratiquement fixes — tous les 12 à 15 ans dans les forêts côtières de la Colombie-Britannique. La gravité de ces infestations peut toutefois varier d'un bout à l'autre de la vaste aire de répartition de l'insecte.

« Quelqu'un qui souhaite prendre des mesures de lutte ou de prévention serait en meilleure posture s'il pouvait être alerté un an ou deux avant que les arbres ne deviennent rouges », indique Vince Nealis, un entomologiste du Service canadien des forêts.

Des chercheurs des centres de foresterie de l'Atlantique et du Pacifique de Ressources naturelles Canada ont récemment déchiffré le code permettant de prévoir si la tordeuse à tête noire pullulera dans une région et le moment exact. M. Nealis a appliqué aux populations endémiques de la tordeuse à tête noire de l'Ouest de la Colombie-Britannique le protocole expérimental utilisé par ses collègues de l'Est dans le cadre d'un projet mettant à l'essai des attractifs à base de phéromones à des fins de dépistage et de répression de la tordeuse à tête noire de l'épinette (*A. variana*) qui infestait le sapin baumier dans l'île du Cap-Breton, en Nouvelle-Écosse, dans la région de l'Atlantique. Le parc national des Glaciers, dans l'intérieur de la province, et Haida Gwaii, au large de la côte centrale, sont les sites utilisés dans l'Ouest pour mettre à l'essai les attractifs à base de phéromones d'*A. variana* et d'*A. gloverana*.

Les deux attractifs ont été efficaces et ont permis de piéger des papillons d'*A. gloverana*. M. Nealis souligne une constatation encore plus importante : « Pendant que nous étions en train de comparer les deux attractifs, nous avons aussi détecté qu'une nouvelle pullulation s'amorçait sur la côte. »

Après quatre années d'augmentation constante, le nombre de captures dans les pièges à phéromone de Haida Gwaii a dépassé le seuil de nuisibilité en 2008 et, comme on pouvait s'y attendre, les aménagistes ont cartographié en 2009 une défoliation sur les îles.

M. Nealis et ses collègues ont aussi établi une corrélation entre le nombre de captures et les œufs dénombrés dans les arbres échantillonnés. Le nombre de papillons de la tordeuse capturés dans les pièges correspondait systématiquement au nombre croissant d'œufs de la tordeuse, confirmant que la fréquence de piégeage est directement corrélée aux niveaux de populations de l'insecte.

Grâce à ce nouvel outil de surveillance des tendances des populations, les aménagistes disposent d'un préavis de un ou deux ans avant une infestation. En rajustant et en planifiant leurs opérations de façon à tenir compte des infestations, ils pourraient tourner à leur avantage la capacité de la tordeuse à tête noire de frapper durement et soudainement.

—*M.K.*

des forêts côtières et accélèrent leur accroissement en volume

Les infestations de la tordeuse à tête noire éclaircissent naturellement les jeunes peuplements de pruches de l'Ouest dans les forêts de la côte Ouest.

ments où les aménagistes avaient investi les sommes les plus importantes avant l'infestation afin d'y accroître la croissance en hauteur. Le dépérissement terminal est un désordre problématique chez n'importe quel arbre mais chez la pruche de l'Ouest, une essence sans dominance apicale forte, il aboutit à un important problème de qualité du bois : il confère aux jeunes pruches une forme buissonnante et favorise leur croissance en largeur plutôt qu'en hauteur.

Lorsque Vincent Nealis est retourné dans les peuplements, il a constaté que les flèches retrouvaient lentement leur dominance apicale.

« J'ai observé des arbres qui, parfois, n'avaient que 17 ans lorsqu'ils ont été dépouillés de leur flèche par la tordeuse, précise M. Nealis. Ils ont maintenant 22 ans et n'ont toujours pas de flèche en croissance : ils ne croissent pas en hauteur. »

Mais les mesures de leur accroissement radial — l'augmentation de la circonférence de la tige ou la quantité de nouveau bois — révèlent une toute autre histoire. Des carottes prélevées dans les tiges révèlent un accroissement radial beaucoup plus lent durant les deux premières années suivant la défoliation — peu importe le degré de défoliation. Puis, durant la troisième année, une reprise est observée. Quatre et cinq ans après la défoliation, le taux d'accroissement était plus élevé qu'avant l'infestation.

Tous les arbres, peu importe leur degré de défoliation, se sont rétablis. La reprise observée a toutefois été plus importante dans les peuplements les plus gravement endommagés — à savoir les peuplements éclaircis avant l'infestation.

Ces nouvelles constatations ont des incidence sur l'aménagement des forêts : les peuplements éclaircis juste avant une infestation subiront de graves dégâts qui prendront la forme d'îlots d'arbres morts et d'arbres morts en cime, des dégâts dont la pruche met beaucoup de temps à se rétablir. Si les peuplements ne sont pas éclaircis, peu d'arbres mourront, et l'accroissement radial des arbres survivants augmentera après que l'infestation aura provoqué une éclaircie naturelle dans les peuplements.

Il peut toutefois être nécessaire d'éclaircir les peuplements de pruches de l'Ouest issus de la régénération naturelle, qui deviennent très denses et dont la croissance stagne rapidement.

« Il pourrait y avoir une solution intermédiaire, ajoute M. Nealis. Les dégâts les plus graves pourraient être atténués par une éclaircie dans les jeunes peuplements après l'infestation de la tordeuse, par une éclaircie pratiquée lorsque les arbres sont plus âgés ou par une éclaircie moins intensive. Nous devrons poursuivre les recherches pour déterminer la meilleure voie à suivre. »

Des telles pratiques pourraient également aider les aménagistes à mettre à profit de manière plus efficace les processus naturellement actifs dans les forêts de pruches en régénération afin d'y augmenter l'accroissement et les taux de croissance.

—*M.K.*

Le piégeage de papillons de la tordeuse à tête noire à l'aide de nouveaux attractifs à base de phéromones a permis aux chercheurs de prévoir le début d'une nouvelle infestation.

Sources

L'article, « *Defoliation of juvenile western hemlock by western blackheaded budworm in Pacific coastal forests* » a été publié au journal scientifique *Forest Ecology and Management* en 2004. Voir aussi le bulletin, *Info-forêts*, de décembre 2005.

Les articles, « *Pheromones and Populations of Western Blackheaded Budworm, Acleris gloverana Walsingham (Lepidoptera: Tortricidae)* » and « *Depletion and Recovery of Pacific Coastal Forests Following Disturbances by Forestry and Insect Defoliation* » sont en traine d'être publiés.

Des techniques facilitant l'identification de pins argentés résistants

Sources

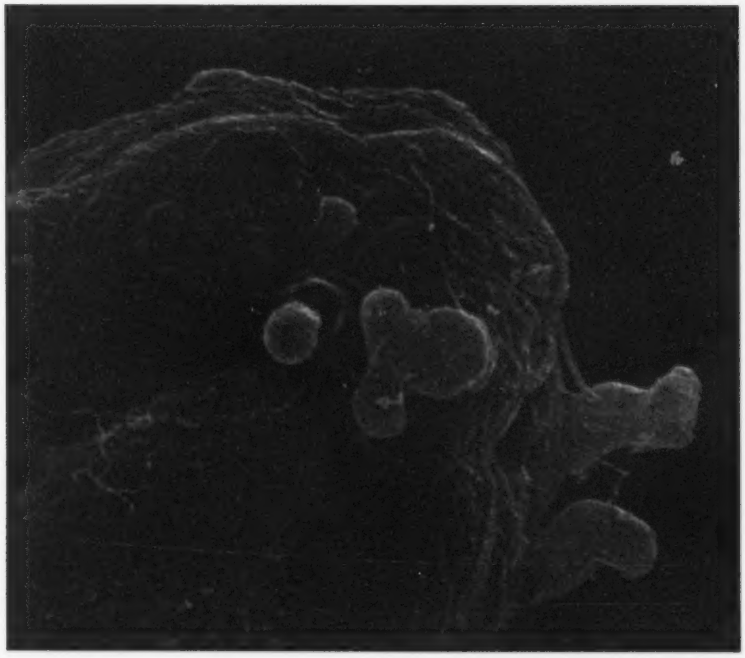
Visitez la librairie en ligne du Service canadien des forêts pour obtenir de la documentation sur la recherche concernant la résistance à la rouille vésiculeuse du pin chez le pin argenté, menée à Ressources naturelles Canada.

De nouvelles données sur le *Cronartium ribicola*, un champignon pathogène envahissant et dévastateur, et sur la résistance du pin argenté à cette maladie nous rapprochent du jour où cette essence de grande valeur sur les plans économique et écologique pourra être rétablie dans les forêts de l'Ouest de l'Amérique du Nord.

David Noshad (dnoshad@rncan.gc.ca), détenteur d'une bourse de perfectionnement postdoctoral du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, a récemment mis au point une méthode de dépistage in vitro qui permet aux chercheurs d'identifier chez le pin argenté une résistance partielle à la rouille vésiculeuse du pin, la maladie dévastatrice causée par le *C. ribicola*. Les recherches de M. Noshad au Centre de foresterie du Pacifique sont complémentaires à d'autres travaux en cours sur la résistance du pin argenté à la rouille vésiculeuse que mènent d'autres collègues de Ressources naturelles Canada, notamment Richard Hunt, un chercheur maintenant à la retraite.

« Les familles que j'ai examinées avaient été auparavant identifiées par les généticiens forestiers comme « difficiles à infecter », indique M. Noshad. Nous avons confirmé que quatre ou cinq d'entre elles sont effectivement résistantes à la rouille. »

En suivant semaine après semaine le cycle vital du pathogène de la rouille vésiculeuse du pin, le *Cronartium ribicola*, M. Noshad a déterminé les effets de la température et de l'humidité sur le développement de la rouille. Sur la photo, nodules (stade télien) contenant des téliospores de *C. ribicola*.



En complément de ses résultats, M. Noshad a examiné au microscope électronique des tissus végétaux résistants et a repéré certains des mécanismes de défense d'ordre structural qui confèrent la résistance. « Pour l'essentiel, les stomates sont recouverts d'une espèce de composé cireux », indique M. Noshad.

Il a aussi suivi le développement du pathogène tout au long de son cycle vital qui comporte cinq stades. Semaine après semaine, il a examiné le *Cronartium ribicola* au microscope optique et au microscope électronique pendant une année complète et a manipulé son environnement pour déterminer les effets de la température, de l'humidité et d'autres facteurs. Le Cronartium ribicola a besoin de deux espèces hôtes pour boucler son cycle. En Colombie-Britannique, l'hôte du stade écidien de la rouille est le pin argenté, tandis que des espèces de la famille des *Ribes* sont les hôtes du stade télien du pathogène. « Ces résultats semblent indiquer que les *Ribes* pourraient être l'hôte principal, ajoute M. Noshad. La pathogène veut survivre sur les *Ribes*, mais ces plantes entrent en dormance durant l'automne — comme elles perdent leurs feuilles, la rouille se transporte sur le pin pour survivre à l'hiver. Il s'agit d'un pathogène très flexible. »

Depuis qu'il a été introduit en Amérique du Nord au début des années 1900 sur des semis expédiés à Vancouver depuis l'Europe, le *C. ribicola* s'est propagé d'un bout à l'autre du continent et a dévasté les forêts de pins argentés et de pins blancs autrefois répandues. La rouille entraîne la mort des pins en provoquant l'apparition sur le tronc de chancres qui finissent par bloquer la circulation des éléments nutritifs entre les racines et les aiguilles. Les feuilles des hôtes de la famille des *Ribes* ont uniquement tendance à tomber un peu et à présenter quelques taches.

Le pin argenté est une essence de pin de l'Ouest particulièrement sensible au *C. ribicola*, mais est naturellement résistant à certains types de maladies des racines qui affligent d'autres essences de conifères communes en Colombie-Britannique. Résistant à la fois à la sécheresse et au froid, il vient bien dans de nombreuses zones biogéoclimatiques et élévations. Il a un système racinaire profond qui empêche l'érosion du sol, il est source d'habitat pour la faune et son bois présente des caractéristiques uniformes qui en accroissent la valeur. Ce sont les raisons pour lesquelles les chercheurs forestiers tentent de trouver des lignées de pin argenté résistantes à la rouille et de les multiplier pour les planter en Colombie-Britannique et ailleurs.

Depuis que M. Noshad a présenté les résultats de cette recherche lors de conférences et à l'aide d'une vidéoconférence Web en direct au Centre de foresterie du Pacifique l'an dernier, des chercheurs de tout le Canada et des États-Unis l'ont contacté au sujet de ses travaux.

—D.C./M.K.

Nouvelles publications

...suite de la page 12

Preliminary risk rating for mountain pine beetle infestation of lodgepole pine forests over large areas with ordinal regression modelling. 2009. Robertson, C. Wulder, M.A.; Nelson, T.A.; White, J.C. Mountain Pine Beetle working paper 2009-19.

Abundance of secondary structure in lodgepole pine stands affected by mountain pine beetle in the Cariboo–Chilcotin. 2009. Coates, K.D.; Glover, T.; Henderson, B. Mountain Pine Beetle working paper 2009-20.

Framework to support impact analyses of renewal strategies of forestlands affected by mountain pine beetle. 2009. Krcmar, E.; Bizikova, L.; Chan-McLeod, A. Mountain Pine Beetle working paper 2009-22.

Bioconversion of beetle killed lodgepole pine to bioethanol. 2009. Saddler, J. Mountain Pine Beetle working paper 2009-24.

Feasibility of using X-ray scanning to characterize mountain pine beetle check severity for optimizing log sorting and lumber manufacturing processes. 2009. Brdicko, J. Mountain Pine Beetle working paper 2009-25.

Waste fatty acid addition to black liquor to decrease tall oil soap solubility and increase skimming efficiency in kraft mills pulping mountain pine beetle-infested wood. 2009. Uloth, V.; Shewchuk, D.; Guy, E.; van Heek, R. Mountain Pine Beetle Working Paper 2009-26.

The effect of varying air injection rates on tall oil soap skimming efficiency for low fatty acid/resin acid ratio soaps produced by pulping mountain pine beetle-infected wood. 2009. Uloth, V.; Guy, E. Mountain Pine Beetle working paper 2009-27.

Effects of acetone extractives in grey-stage mountain pine beetle-Killed lodgepole pine on Kraft mills. 2009. Allen, L.; Gagné, A. Mountain Pine Beetle working paper 2009-28.

Determining the relationship between wood and fibre quality of mountain pine beetle-killed wood and paper quality of mechanical paper. 2009. Francis, B.; Dalpke, B.; Hu, T.; Bicho, P. Mountain Pine Beetle working paper 2009-29.

Historical frequency, intensity and extent of mountain pine beetle disturbance British Columbia landscapes. 2010. Alfaro, R.; Campbell, E.; Hawkes, B. Mountain Pine Beetle working paper 2009-30.

Événements

Congrès annuel et assemblée générale
Association of BC Forest Professionals (Association des professionnels de la forêt de la C.-B.)
8 et 9 avril 2010
Kelowna (C.-B.)
Info: www.expofor.ca

Conférence internationale sur les efforts en réponse aux désastres naturels forestiers
Le premier forum en sciences forestières
Du 12 au 14 avril 2010
Pékin, Chine

4th International BioEnergy Conference and Exhibition (4e conférence et exposition internationale sur la bioénergie)
Du 8 au 10 juin 2010
Prince George (C.-B.)
Info : www.bioenergyconference.org

Transformation through Innovation (La transformation par l'innovation)
23e colloque annuel mondial sur le secteur forestier et papetier
PricewaterhouseCoopers
Le 11 mai 2010
Vancouver (C.-B.)
Renseignements : www.pwc.com/en_GX/gx/forest-paper-packaging/events/23rd-fpp-conference/transformation-through-innvoation.jhtml

18th Commonwealth Forestry Conference (18e Conférence forestière du Commonwealth)
Du 28 juin au 2 juillet 2010
Edinburgh (R.-U.)
www.cfc2010.org

Forest Landscapes and Global Change: New Frontiers in Management, Conservation and Restoration (Paysages forestiers et changements mondiaux : Nouvelles frontières dans le domaine de l'aménagement, de la conservation et de la restauration)
Du 21 au 27 septembre 2010
Bragança (Portugal)

L'utilisation régionale des terres dans l'économie mondiale
102e assemblée générale annuelle et conférence annuelle de l'Institut forestier du Canada
Du 27 au 29 septembre 2010
Jasper (Alberta)
www.cif-ifc.org

9e Conférence canadienne sur la forêt urbaine
Arbres Canada
5 au 8 octobre 2010
Truro, Nouvelle-Écosse
Renseignements : Melissa Nisbett, mnisbett@tree-canada.ca

Nouvelles publications de la Librairie

Rapports d'information

Re-establishment of ectomycorrhizae from refugia bordering regenerating Douglas-fir stands in Vancouver Island. 2009. Outerbridge, R.A.; Trofymow, J.A.; Lalumière, A. Information Report BC-X 418.

A survey of some microorganisms isolated from the spruce beetle in central British Columbia. 2009. Safranyik, L.; Whitney, H. S.; Bleiker, K.P. Information Report BCX 420.

Successional changes in plant species diversity in forest chonosequences on southern Vancouver Island. 2009. Ryan, M.W.; Fraser, D.F.; Marshall, V.G.; He, Fangliang. Information Report BC-X 421.

Decreasing uncertainty in CBM-CFS3 estimates of forest soil carbon sources and sinks through use of long-term data from the Canadian Intersite Decomposition Experiment. 2009. Smyth, C.E.; Trofymow, J.A.; Kurz, W.A.; the CIDET Working Group. Information Report BC-X 422.

Quantifying the Water Resource Impacts of Mountain Pine Beetle and Associated Salvage Harvest Operations Across a Range of Watershed Scales: Hydrologic Modeling of the Fraser River Basin. 2009. Schnorbus, M.; Bennett, K.; Werner, A. Information Report BC-X 423.

The role of tariff and non-tariff trade barriers in the global forest products trade: a Canadian perspective. 2010. Sun, L.; Bogdanski, B.E.C.; Stennes. B.; van Kooten, G.C.. Information Report BC-X 424.

Documents de travail sur le dendroctone du pin ponderosa

Heat disinfestation of decay fungi found in post-mountain pine beetle wood. 2009. Uzonovic, A.; Khadempour, L.; Leung, K. Mountain Pine Beetle Working Paper 2008-14.

Landscape-level analysis of mountain pine beetle in British Columbia: spatiotemporal development and spatial synchrony within the present outbreak. 2009. Aukema, B.H.; Carroll, A.L.; Zhu, J.; Raffa, K.F.; Sickley, T.A.; Taylor, S.W. Mountain Pine Beetle Working Paper 2008-29.

Effects of pine beetle infestations and treatments on hydrology and geomorphology: Integrating stand-level data and knowledge into meso-scale watershed functions. 2009. Alila, Y.; Bewley, D.; KuraØ, P.; Marren, P.; Hassan, M.; Luo C.; Blair, T. Mountain Pine Beetle Working Paper 2009-06.

Feasibility of composing green mountain pine beetle veneers. 2009. Dai, C.; He, G.; Heng, X. Mountain Pine Beetle working paper 2009-09.

Development of high-performance and durable engineered wood products from mountain pine beetle veneers using novel resin impregnation technologies. 2009. Wang, B.J.; Chui, Y.H.; He, G.; Xie, D. Mountain Pine Beetle working paper 2009-10.

Development and application of a peak-flow hazard model for the Fraser basin, British Columbia. 2009. Carver, M.; Weiler, M.; Scheffler, C.; Rosin K. Mountain Pine Beetle working paper 2009-13.

Development of a low-flow hazard model for the Fraser basin, British Columbia. 2009. Carver, M.; Weiler, M.; Stahl, K.; Scheffler, C.; Schneider, J.; Naranjo, J.A.B. Mountain Pine Beetle working paper 2009-14.

Mountain pine beetle and salvage harvesting influence on small stream riparian zones. 2009. Rex, J.; Krauskopf, P.; Maloney, D.; Tschaplinski, P. Mountain Pine Beetle working paper 2009-17.

Improving the stability of oriented strand board manufactured from mountain pine beetle wood. 2009. Semple, K.; Cullis, I.; Evans, P. Mountain Pine Beetle working paper 2009-18.

suite à la page 11...

Rendez-vous à la libraire en ligne du Service canadien des forêts
pour commander ou télécharger les publications du Service canadien des forêts :

librairie.scf.rncan.gc.ca

Le catalogue comprend des milliers de publications et de rapports de recherche
du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada.

Info-forêts : recherche en science et technologie au Centre de foresterie du Pacifique Service canadien des forêts est publié trois fois par année par le Centre de foresterie du Pacifique du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada, 506 West Burnside Road, Victoria (Colombie-Britannique) V8Z 1M5; scf.rncan.gc.ca/regions/cfp; téléphone : 250 363 0600. Les rédacteurs de ce numéro sont Davide Cuzner, Monique Keiran, et Krista Zala.

Pour commander des exemplaires supplémentaires de la présente publication ou de toute autre publication du Service canadien des forêts, visitez la librairie en ligne du Service canadien des forêts à librairie.scf.rncan.gc.ca ou communiquez avec Nina Perreault (téléphone : 250 363 0771; courriel : PFCPublications@nrcan-rncan.gc.ca), commis aux publications du Centre de foresterie du Pacifique. Rendez-vous à l'adresse suivante pour vous abonner ou changer votre adresse postale : PFCPublications@nrcan-rncan.gc.ca. Veuillez faire parvenir vos questions, commentaires, suggestions ou demandes de permissions de reproduction des articles de la présente publication à l'éditrice, Monique Keiran (téléphone : 250 363 0779; courriel : PFCPublications@nrcan-rncan.gc.ca).

Also published in English, as Information Forestry. *Visit the Canadian Forest Service online bookstore at bookstore.cfs.nrcan.gc.ca to order or download.*

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2009

Imprimé au Canada